



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Grundvandsvarmepumper og -køling med grundvandsmagasiner som sæsonlager

Sørensen, Stig Niemi; Wittchen, Kim Bjarne; Riis, Jens Christian; Balslev-Olesen, Ole; Jakobsen, Flemming Hoff

Publication date:
2009

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Sørensen, S. N., Wittchen, K. B., Riis, J. C., Balslev-Olesen, O., & Jakobsen, F. H. (2009).
Grundvandsvarmepumper og -køling med grundvandsmagasiner som sæsonlager. EnOpSol.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

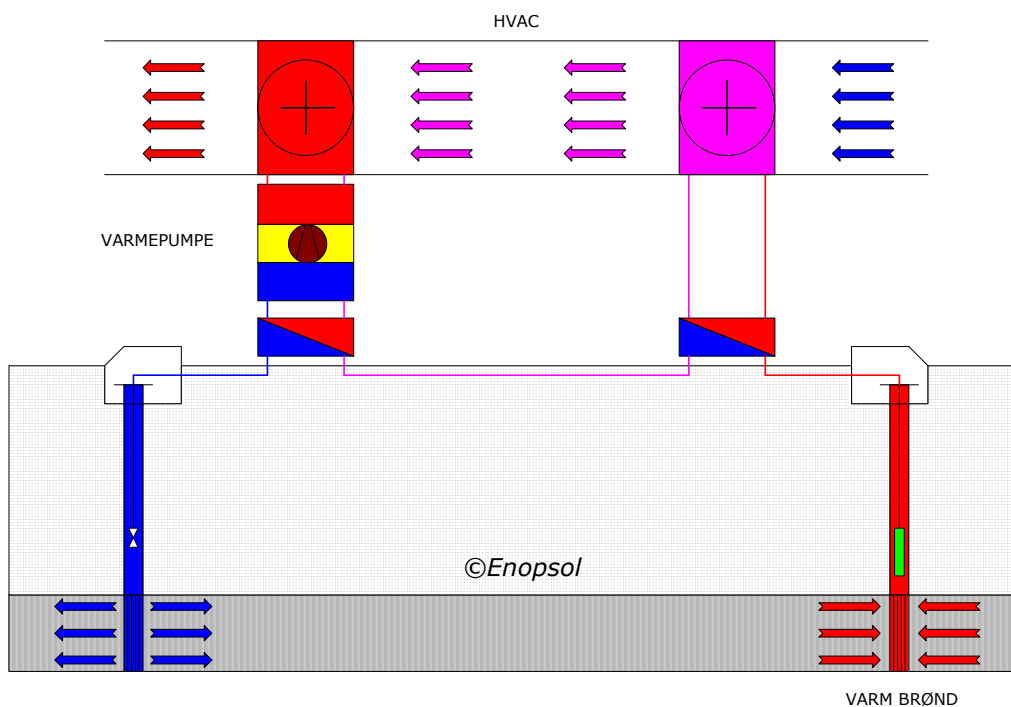
- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

ELFORSK PSO-F&U 2007

Grundvandsvarmepumper og -køling med grundvandsmagasiner som sæsonlager



ELFORSK PSO-F&U 2007

Grundvandsvarmepumper og –køling
med grundvandsmagasiner som
sæsonlager

Enopsol ApS
DONG Energy A/S
Hundsbæk & Henriksen A/S
Cenergia ApS
SBI

Enopsol ApS
marts 2009

Indholdsfortegnelse

1. Indledning.	3
2. Formål.	4
3. Sammenfatning.	4
4. Konklusion.	4
5. Funktionsprincip	5
6. Lovgivning for ATES-anlæg i Danmark.	11
7. Energibesparelse m.v.	12
8. Grundvandskølig og ATES. Teknologistade i Danmark.	12
9. Grundvandskøling og ATES. Teknologistade udland.	17
10. Internationalt samarbejde under IEA.	17
11. Varmepumper og absorptionsanlæg. Teknologistade	19
12. Ventilationsanlæg. Teknologistade	19
13. Lavtemperatur solvarme. Teknologistade.	19
14. Bygningsreglement B06 og ATES.	19
15. Kortlægning af potentiale for ATES i DK.	20
16. Myndighedsforhold	20
17. Barrierer og virkemidler for teknologiens udbredelse.	21
18. Beregningsværktøj for udlægning af ATES	22
19. Gennemregning af 4 anlægseksempler	22
20. Checkliste for etablering af ATES	23
21. Referencer	26

Bilag 1. Energibesparelser ved ATES-anlæg

Bilag 2. Varmepumper og ATES

Bilag 3. Ventilationsanlæg og ATES

Bilag 4. Lavtemperatur solvarme og ATES

Bilag 5. Beregning af energirammen og ATES-systemer

Bilag 6. Eksisterende beregningsmodeller i TRNSYS-programmet

Bilag 7. Beregningsværktøj

Bilag 8. Gennemregning af 4 anlægseksempler

1. Indledning.

Grundvandet i de overfladenære grundvandsmagasiner har den egenskab, at temperaturen er konstant året rundt – i Danmark ca. 9-10°C, hvilket er en ideel temperatur for mange køleformål, herunder bygningskøling.

De strukturer, hvori grundvandet befinder sig i Danmark (sand, grus og kalk) er samtidigt effektive til at opbevare kulde og lavtemperatur varme over lange tidsrum.

Det er ved brug af sæsonlagring af lavtemperatur varme og kulde i terrænnære, grundvandsførende jordlag muligt at opnå rentable energibesparelser på op til 90% til køling og op til 60% til opvarmning af fx hoteller, lufthavne, indkøbscentre, kontorbygninger og andre større bygningskomplekser ved hjælp af varmepumper.

De store energibesparelser betyder korte tilbagebetalingstider på typisk 3-5 år og samtidigt markante reduktioner i CO₂-udledningen.

Teknologien er forholdsvis ny i Danmark sammenlignet med fx Holland og Sverige.

Den internationale betegnelse er ATEs, der står for Aquifer Thermal Energy Storage. Denne betegnelse vil blive benyttet i den foreliggende rapport.

Projektet, der har opnået støtte fra ELFORSK PSO-F&U 2007, er initieret af firmaerne DONG Energy A/S og Enopsol ApS med Enopsol ApS som projektleder. Desuden har Hundsbaek & Henriksen A/S, Cenergia ApS og Statens Byggeforskningsinstitut (SB) deltaget i projektet.

4 virksomheder: Hotel Opus i Horsens, Novo Nordisk A/S i Hillerød, Sydvestjysk Sygehus i Esbjerg og Field's på Amager har bidraget med anlægsdata til brug for de under projektet udviklede beregningsværktøjer.

Ud fra hensynet til at konceptet kan få den størst mulig udbredelse med mindst mulig belastning af grundvandsressourcerne er den foreliggende rapport og medfølgende beregningsmodel derfor udviklet til brug for etablering af anlæg med både grundvandsmæssig og termisk balance, hvilket må forventes at blive et fremtidigt myndighedskrav.

2. Formål.

Formålet med projektet har været at udvikle løsninger og gennemføre en vifte af aktiviteter, der kan fremme udbredelsen af anlæg til opvarmning og køling med grundvand. Det vil kunne sikre store el- og varme-besparelser i Danmark, hvor teknologien, i modsætning til udlandet, generalt er overset.

Målet er søgt opnået gennem en kombination af vidensindsamling i udlandet, udvikling af værktøjer til beregning af anlæg med grundvandskøling og grundvandsbaserede varmepumper med sæsonlagring under danske forhold, samt forankring og formidling af viden om teknologien.

3. Sammenfatning.

ATES er en teknologisk afklaret, kommerciel attraktiv metode til bygningskøling og -opvarmning og teknologien er klar til markedspenetrering i Danmark.

Flere hundrede anlæg er allerede realiseret i udlandet under forhold, der kan sammenlignes med de danske.

Da ATES-systemerne udføres med fuld grundvands- og termisk balance kan sådanne anlæg etableres og drives uden fare for indvindingen af grundvand til drikkevandsforsyning.

En række igangværende nybyggerier vil blive forsynet med ATES-systemer for bygningskøling og -opvarmning, hvorfor teknologien er på vej til at finde fodfæste i Danmark, hvilket ikke mindst skyldes formidlingsaktiviteterne i omhandlede projekt.

4. Konklusion.

På baggrund af de nugældende og i fremtiden forventede, skærpede krav til besparelser i energiforbruget for bygninger vil ATES blive et af de teknologier, der vil opnå en større anvendelse i Danmark.

Energiprisniveauet gør systemerne attraktive ud fra rent kommercielle hensyn.

Systemerne er også attraktive i kombination med anvendelsen af solvarme, udeluftkøling og varmepumper.

5. Funktionsprincip

I sin mest enkle udformning består et ATES-system af en boring til indvinding af grundvand fra et grundvandsførende vandlag og en boring til returledning af grundvand til det samme grundvandsførende vandlag, hvorfra det blev indvundet -en såkaldt kold og varm boring. Figur 1 viser princippet.

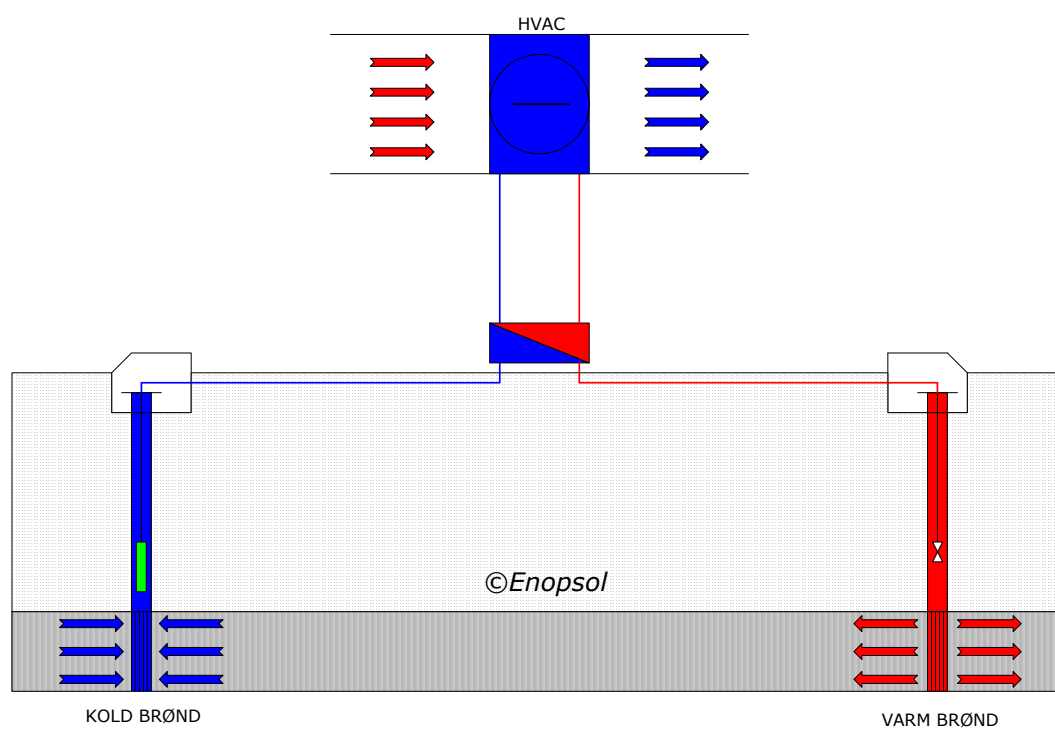
Grundvandet pumpes fra den kolde boring i et lukket rørsystem gennem en eller flere varmevekslere, hvor grundvandet ved varmeveksling køler fx ventilationsluften i en bygning eller proceskølevandet i en produktionsvirksomhed. Pumpes grundvandet i samme retning hele tiden betegnes systemet 1-flow.

Ved varmevekslingen opvarmes grundvandet, hvorefter det tilbageføres til grundvandsmagasinet gennem den varme boring. Der sker således ikke noget forbrug af grundvand, kun en opvarmning og en lokal flytning af grundvand.

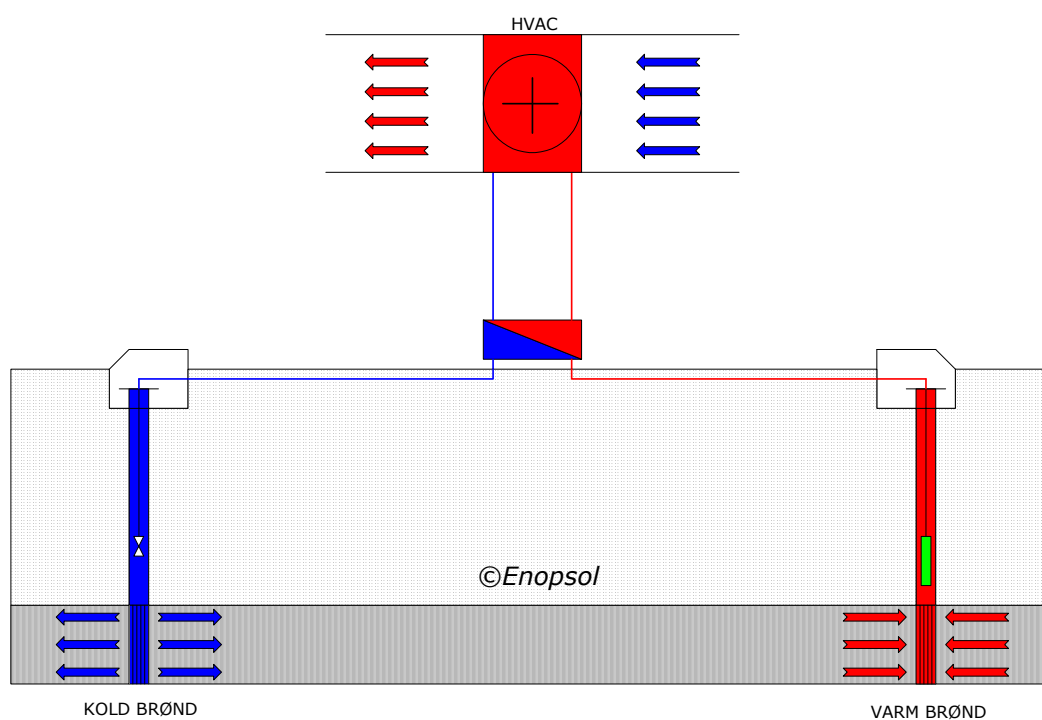
I vintertiden kan pumperetningen vendes, og der pumpes fra den varme boring og returledes i den kolde boring efter udnyttelse af varmen lagret i sommertiden til bygningsopvarmning fx ved hjælp af en varmepumpe. Figur 2 viser princippet. Der sker således ikke noget forbrug af grundvand, kun en afkøling og en lokal flytning af grundvand. Systemet må som udgangspunkt udlægges, så der ikke sker nogen netto varmetilførsel til grundvandsmagasinet over et driftsår (termisk balance). Systemer, der pumper grundvandet i begge retninger betegnes 2-flow. ATES-systemer i 2-flow udførelse er derfor både i grundvandsmæssig og termisk balance.

Produktionsvirksomheder har overvejende behov for køling, hvorfor 1-flow anlæg som vist i figur 1 har vist sig at være de mest attraktive.

Anlægstypen kan udvides med udeluftskøling til gennedkøling af grundvandet i vintertiden, således at der også kan opnås termisk balance af grundvandsmagasinet med 1-flow systemer.



Figur 1. Ates sommertid. Køling med grundvand.



Figur 2. Ates vintertid. Opvarmning med grundvand.

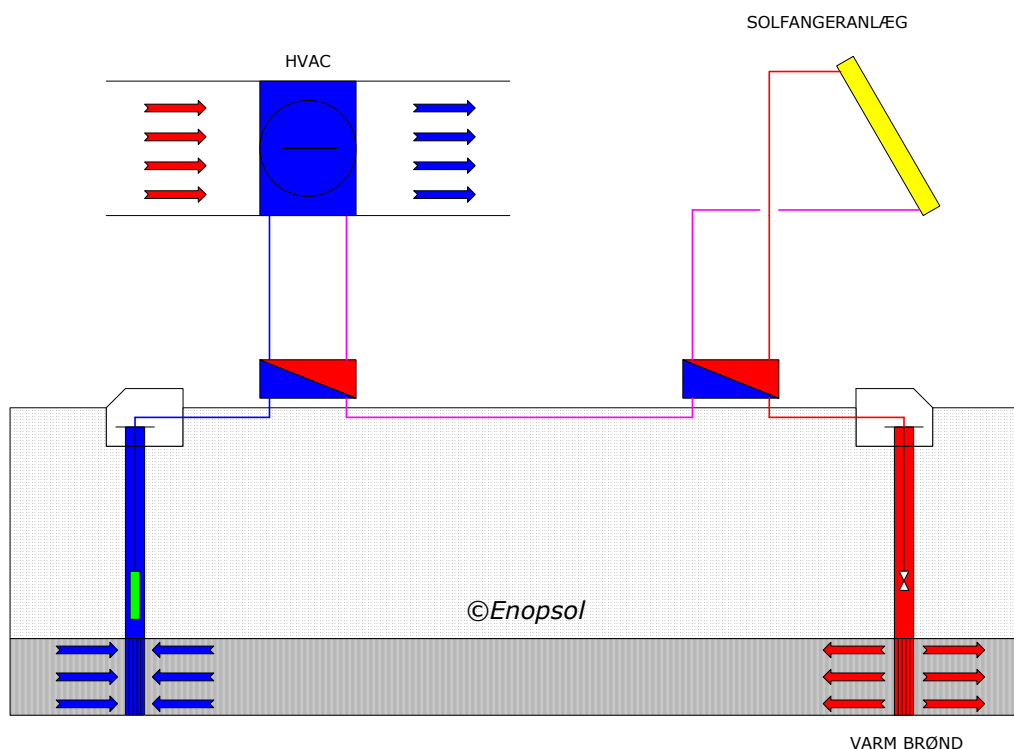
I de tilfælde, hvor bygningens kølebehov er større end varmebehovet eller hvor det til rådighed værende grundvandsmagasin er begrænset i ydelse og volumen, kan det være nødvendigt at supplere med lagring af kulde i grundvandsmagasinet i vintertiden. Dette kan ske ved brug af kold udeluft, hav-, sø- eller å-vand.

Hvis bygningens varmebehov er større end kølebehovet eller hvor det til rådighed værende grundvandsmagasin er begrænset i ydelse og volumen kan der ske lagring af varme i grundvandsmagasinet i sommertiden fx ved anvendelse af lavtemperatur solvarme.

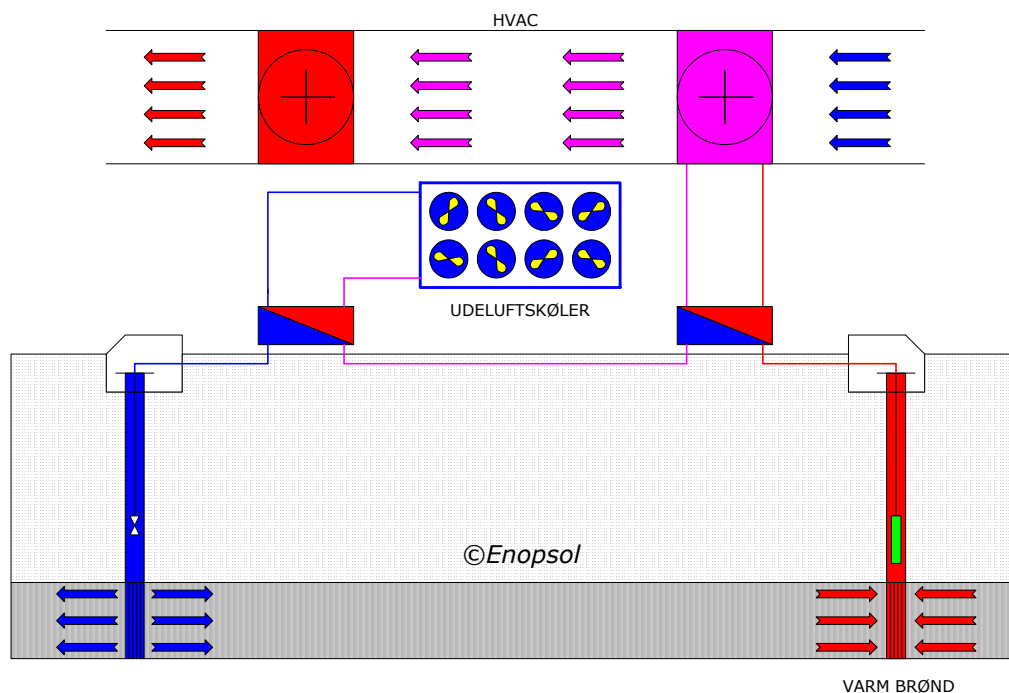
ATES-systemer kan også kombineres med varmepumper, fjernvarme og andre energikilder afhængig af de lokale forhold.

På figur 3 er der som eksempel på en kombinationsløsning vist et solfangeranlæg, der opvarmer grundvandet om sommeren for lagring af lavtemperatur varme til brug i vintertiden.

På figur 4 er der vist et eksempel på kuldslagring i vintertiden ved at underafkøle grundvandet med kold udeluft via en væskekøler.

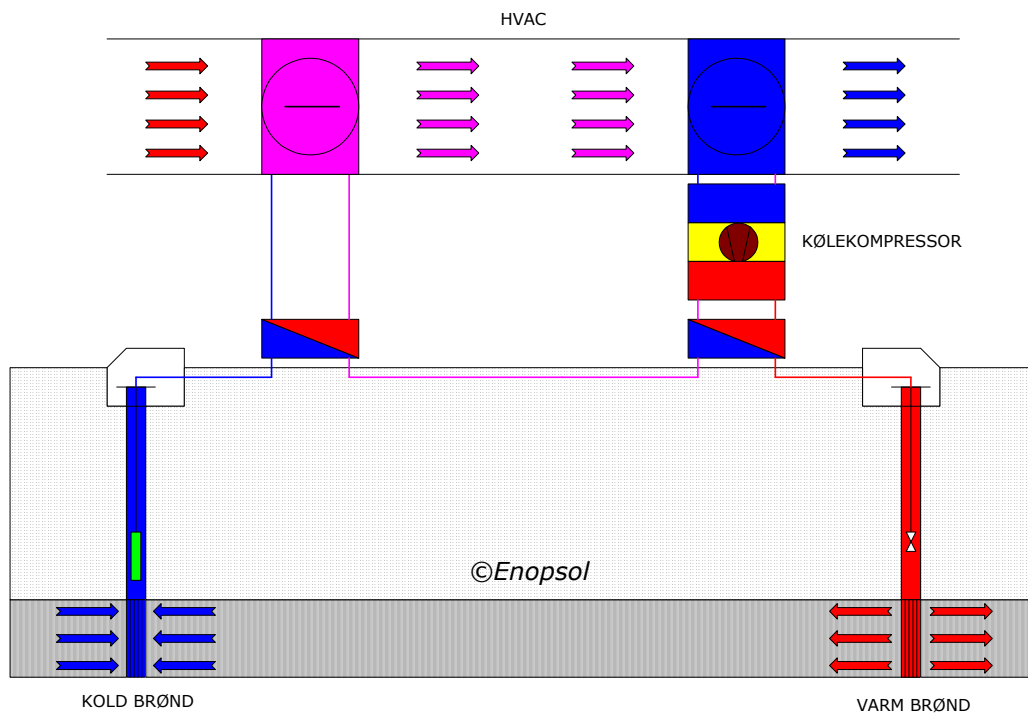


Figur 3 ATES sommertid. Køling med grundvand.
Lagring af lavtemperatur solvarme



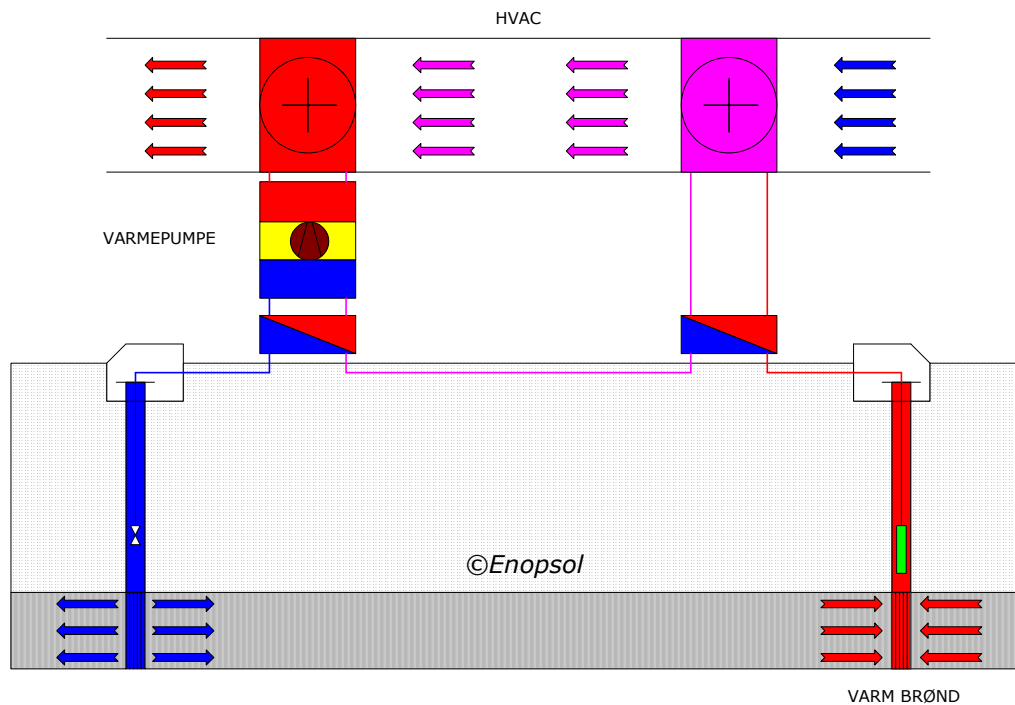
Figur 4. ATES vintertid. For-opvarmning med grundvand og kuldelagring med kold udeluft.

Figur 5 viser sommertiden, hvor en kølekompressor leverer supplementskøling til grundvandskøleanlægget og kølekompressorens kondensator afkøles med grundvand. Herved kan kondensatortrykket holdes på et meget lavt niveau, hvilket betyder en høj COP-faktor for kølekompressoren. Det herved opvarmede grundvand returneres til grundvandsmagasinet via den varme brønd.



Figur 5. ATES sommertid. Køling med grundvand og kølemaskine. Kølemaskinens kondensator køles med grundvand. Lagring af opvarmet grundvand efter passage af køleanlægget.

Figur 6 viser vintertiden, hvor kølemaskinen drives som varmepumpe og trækker restvarmen ud af grundvandet til brug ved opvarmning af den tilhørende bygning. Herved gennedkøles grundvandet, således at der opstår termisk balance i det vandførende jordlag.



Figur 6. ATES vintertid. For-opvarmning med grundvand.
Lagring af afkølet grundvand efter passage af en varmepumpe.

ATES kan som illustreret på figur 1-6 kobles på mange måder –også sammen med traditionelle systemer, og den optimale systemløsning afhænger af det aktuelle forhold mellem de naturlige grundvandsbetingelser og køle- og opvarmningsbehovet.

I designfasen er det af største vigtighed, at bygningen/processen udlægges til køling ved så høj en kølevandstemperatur som muligt og ved så lav en varmtvandstemperatur som muligt for at opnå den bedste rentabilitet af ATES-systemet.

6. Lovgivning for ATES-anlæg i Danmark.

Ansøgninger om tilladelse til etablering af ATES-anlæg behandles efter Vandforsyningsloven (tilladelse til indvinding af grundvand) og Miljøbeskyttelsesloven (tilladelse til tilbageledning af grundvand).

Den stedlige kommune er sagsbehandler for ansøgninger til ATES-anlæg

I medfør af §7a, stk. 1 og §19 stk. 5 i lov om miljøbeskyttelse jf. lovbekendtgørelse nr. 753 af 25. august 2001 har Miljøministeriet udstedt:

BEK 1206 af 24. november 2006: "Bekendtgørelse om varmeindvindingsanlæg og grundvandskøleanlæg." /1/

Bekendtgørelsen fastsætter regler for kommunalbestyrelsens meddelelse af tilladelse til etablering og drift af varmeindvindingsanlæg og grundvandskøleanlæg, afledning samt egenkontrol med sådanne anlæg. Bekendtgørelsens regler skal sikre, at grundvandskvaliteten i magasinet bevares, og at der ikke er fare for forurening af vandforsyningsanlæg. Til sikring heraf, skal flg. betingelser bl.a. være opfyldt:

- Der indvindes fra og injiceres (tilbageledes) til det samme grundvandsmagasin
- Der er udført undersøgelser, der tilvejebringer oplysninger om grundvandsmagasinet geologi og udstrækning (horisontalt og vertikalt), hydrauliske egenskaber, hydrogeologiske forhold, kemi og mikrobiologi samt hydrotermiske egenskaber
- Modellering, der kan vise, at temperaturen af grundvand indvundet i nærliggende vandforsyningsboringer eller nærliggende ATES-anlæg ikke stiger med mere end 0.5°C.
- Modellering, der kan vise, at grundvandsressourcen i områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD-områder) efter en periode på 10 år efter driftsstop er anvendelig til brug for vandforsyning.
- Anlægget skal være et lukket system uden vandbehandling og uden mulighed for indtrængning af atmosfærisk luft.
- Blanding af grundvand og væske i forbrugskredsen må ikke kunne finde sted.
- Der må ikke tilbageledes grundvand i grundvandsmagasinet, der her en temperatur på under 2°C gennemsnitligt over en måned.
- Der må ikke tilbageledes grundvand i grundvandsmagasinet, der her en temperatur på over 25°C og ikke over 20°C gennemsnitligt over en måned.
- Kommunalbestyrelsen fastsætter vilkår gældende for det pågældende anlæg.

Tilladelser udstedt til ATES-anlæg annonceres offentligt og sendes i 4 ugers høring, hvor indsigelsesberettigede myndigheder, organisationer og

grundvandsinteressenter, herunder lokal vandværker og lokale enkeltindvindere har mulighed for at gøre indsigelse mod tilladelsen. Ansøger er også klageberettiget.

Indkommer der en eller flere klager i høringsfasen behandles disse i Miljøklagenævnet medmindre det er muligt at opnå enighed med klagestillerne om tilbagetrækning af klagerne.

I forbindelse med anlægsetableringen skal borearbejder udføres efter gældende bestemmelser omfattende den såkaldte boringsbekendtgørelse og tilhørende uddannelsesbekendtgørelse for brøndborere.

7. Energibesparelse m.v.

Prisen for køling og opvarmning i kr./MWh med et ATES-system (figur 1-6) kan hurtigt beregnes ved hjælp af i Bilag 1. For mere detaljerede beregninger henvises til beregningsværktøjet i Bilag 6

8. Grundvandskølig og ATES. Teknologistade i Danmark.

ATES har været et kendt princip i den vestlige verden efter energikrisen i 1973, men kineserne var de første, der tog teknikken i anvendelse i slutningen af 1950-erne.

I perioden 1978-83 blev der i Danmark etableret ca. 250 grundvands-varmepumpeanlæg, primært mindre anlæg til opvarmning af parcelhuse. Interessen for konceptet skyldtes de kraftig stigende oliepriser til husopvarmning som følge af energikrisen i 1973-74. På grund af de forholdsvis små varmebehov, blev der, med det formål at holde anlægsgudgifterne på et attraktivt niveau, udført meget billigt og dårligt borearbejde. Dette betød, at et antal anlæg fik driftsproblemer, herunder sandproducerende boringer (dårligt filterdesign) og jern- og manganudfældende (okker), der primært skyldes indtrængning af atmosfærisk luft under grundvandscirkulationen.

DTU spillede i disse år en aktiv rolle for at kortlægge driftsproblemerne og forbedre anlægsdesign og økonomi, analysere de termiske forhold i grundvandsmagasiner samt sæsonlagring af lavtemperatur solvarme og varme produceret med andre naturlige varmekilder. Kildehenvisninger /2/, /3/, /4/, /5/ og /6/.

Fra slutningen af 1970-erne blev der også ofret forskningsmidler på at undersøge mulighederne for at anvende grundvandsmagasiner til sæsonlagring af højtemperatur overskudsvarme fra sommer til vinter. RISØ, GEUS og DTU var initiativtagere til etableringen af Hørsholm Varmelager, hvor man ville lagre overskudsvarme fra affaldsforbrændings-

anlægget Nordforbrænding i et nærliggende grundvandsmagsin til brug for boligopvarmning i vintertiden. Varmen skulle distribueres via det til Nordforbrænding tilhørende fjernvarmenet. Lagringstemperaturen skulle være op imod 100°C. For at dette kunne lade sig gøre, var det nødvendigt at udstyre anlægget med et avanceret vandbehandligssystem, således at grundvandets naturlige indhold af jern, mangan og calcium ikke fældede ud ved opvarmningen. Hørsholm Varmelager deltog sammen med en række andre højtemperatur varmelagringsforsøg i grundvandsmagasiner under IEA (International Energy Agency), herunder SPEOS i Lausanne i Sveiz og University of Minneapolis i U.S.A.

Konklusionen på initiativerne med at forsøge at sæsonlagre højtemperatur varme i grundvandsmagasiner blev dog, at dette ikke var en farbar vej, der væsentligst skyldes de tekniske og miljømæssige problemer ved at fortage vandbehandling af grundvandet. Med afslutningen af Hørsholm-projektet er der ikke siden foretaget initiativer i Danmark med det formål at sæsonlagre højtemperatur varme i grundvandsmagasiner.

Internationalt er der heller ikke foretaget yderligere forsøg hermed.

Kildehenvisning /7/.

Lavtemperatur lagring af varme i grundvandsmagasiner har også været undersøgt af DTU. Der henvises til kilderne /8/, /9/ og /10/.

Siden starten af 1990-erne har det i Danmark og internationalt drejet sig om anvendelsen af grundvandsmagasiner som kilde til rumkøling og opvarmning i det kommercielle byggeri og til proceskøling i industrien.

Billund Lufthavns nye terminalbygning var det første store byggeri herhjemme, hvor metoden blev benyttet til køling af rumluft. Anlægget blev idriftsat i 2002.

I 2000 blev der opnået tilladelse til grundvandskøling med reinjektion for Rigsarkivets nye bygning i Ørestaden ved København. Byggeriet blev imidlertid opgivet umiddelbart efter regeringsskiftet 2001.

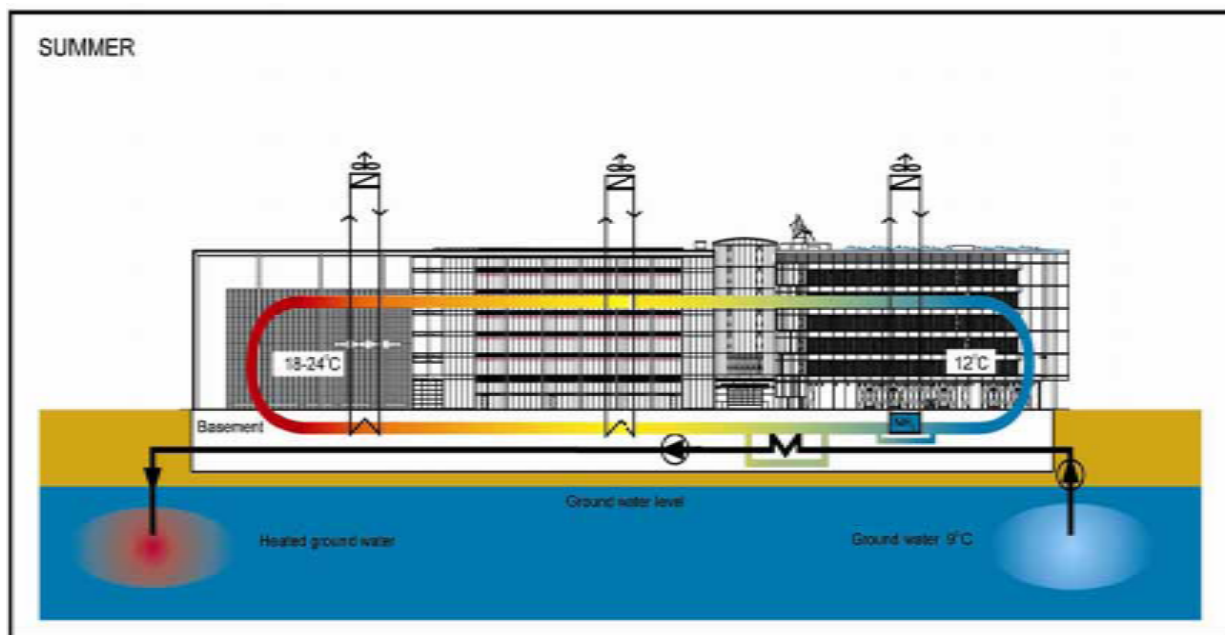
Det første kommercielle ATES-anlæg blev idriftsat hos DEIF A/S i Skive i august 2008. Anlægget er det første anlæg i Danmark, der anvender teknologien både til køling af bygninger og processer og til bygningsopvarmning vha. varmepumper (2-flow-system).

Et antal byggerier i Danmark er under opførelse, hvor ATES-teknologien finder anvendelse, herunder Copenhagen Towers i Ørestad, Sundheds- huset i Horsens, Widex A/S i Vassingerød og RHQ i Ørestaden.

DR-Byen i Ørestaden vil anvende et ATES-system til bygningskøling. Det drejer sig om Nyhedshuset, der er DR-Byens Segment 2. På internettet kan hentes flg. oplysninger om projektets visioner:

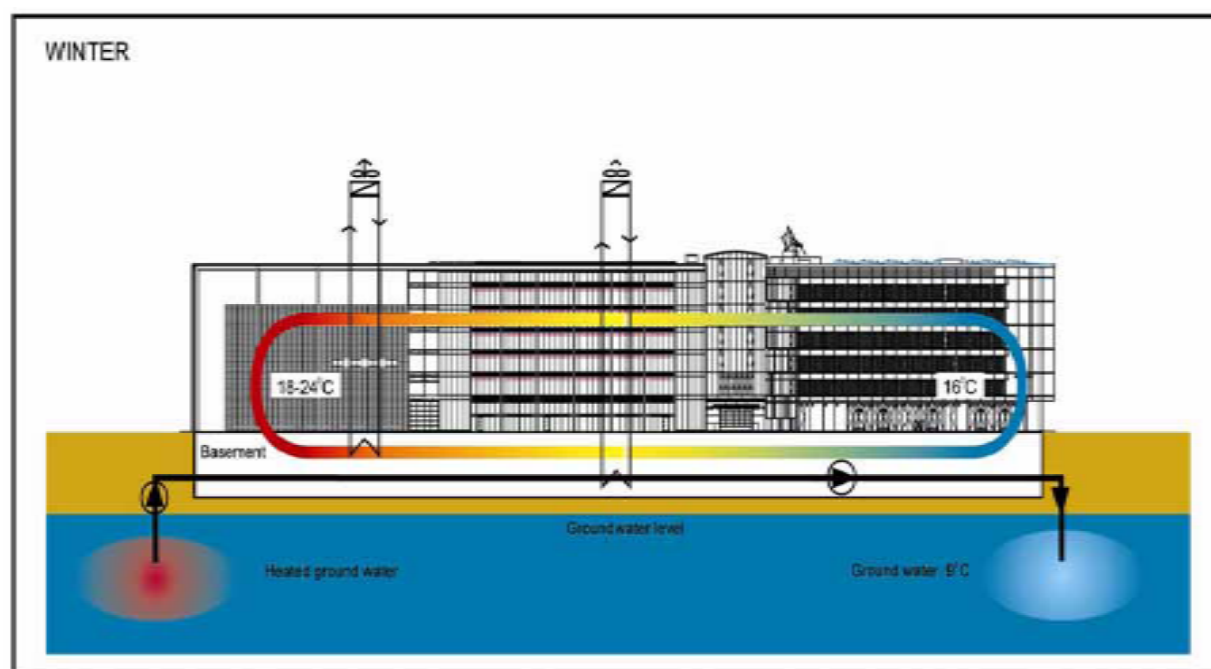
Danmarks Radios nye hovedsæde i Ørestad bliver udført som et miljøvenligt byggeri. DR har formuleret en miljøpolitik for byggeriet, som skal efterleves af alle på projektet. Det betyder blandt andet, at der skal spares på ressourcerne, vælges miljøvenlige og sunde materialer og skabes et godt indeklima og arbejdsmiljø. Kravene gælder både for byggefasen, hvor sikkerhed og sundhed er i fokus og for det færdige byggeri. Alle krav til projektet skal opfyldes inden for det godkendte budget på 3 mia. kr. DR Byen har dog derudover fået EU-midler som et demonstrationsbyggeri for minimering af miljøbelastningerne fra moderne IT-tungt kontorbyggeri, som har et stort behov for køling. I DR Byen vil op mod 80 % af det samlede kølebehov blive dækket af alternative kølemetoder såsom frikøling med udeluft og grundvandskøling med vand, der pumpes op fra undergrunden. Udover de alternative kølemetoder får bygningen energibesparende dobbeltfacader og Danmarks største solcelleanlæg på 1200 m².

Grundvandsanlægget er designet for termisk balance af grundvandsmagasinet og med 100% back-up i form af mekanisk køling med kølekompressor anlæg. Anlægget er endnu ikke idriftsat (marts 2008).



CONCEPT FOR COOLING - SUMMER

Figur 13. Ates til DR-Byen. Sommerdrift



CONCEPT FOR COOLING - WINTER

Figur 14. Ates til DR-Byen. Vinterdrift.

De fleste større anlæg for grundvandskøling er indtil nu etableret i danske industrivirksomheder. Her er kølebehovet det dominerende, og der findes i dag et antal anlæg med og uden termisk balancering af det anvendte grundvandsmagasin.

Agro-sektoren i Danmark anvender også køling med grundvand idet kartoffelmelsfabrikkerne AKV Langholt Amba og Karup Kartoffelmelsfabrik benytter teknologien til køling af kartoffelsaft.

Nye initiativer er i gang i mht. til at gøre de i dag energitunge væksthusholdninger energineutrale eller ligefrem netto energiproducenter. Hertil er det nødvendigt med stor varmelagringskapacitet, hvorfor ATES-systemet er under overvejelse. Gartneriet Hjortebjerg ved Bogense bliver sandsynligvis det første gartneri i Danmark, der vil anvende teknologien, som anvendes i stor udstrækning i dag i hollandske gartnerier.

Tabellen herunder viser nøgledata for nogle af de første større grundvandskøleanlæg med reinjektion, kulde- og varmelagring, idriftsat i Danmark. Tabellen viser også data for nogle fremtidige anlæg.

Anlægejer	Årstal	Grundvandsflow		Kølekapacitet		Elbesparelse	CO ₂ -red.
		m ³ /h	m ³ /år	kW	MWh/år	MWh/år	t/år
Chr. Hansen A/S	1996	200	750000	3700	6000	600	468
Knudsen Plast A/S	1998	50	250000	290	1450	430	335
DBI Plastics A/S Anlæg 1	1998	30	150000	175	875	260	202
Primo DK A/S ^{*)}	1999	65	260000	600	1500	400	312
Sky-Light A/S	2000	80	600000	450	3500	880	686
Mikron Faarevejle A/S	2001	45	160000	520	1850	420	327
Superfos A/S ^{**)}	2001	75	600000	1000	6700	1350	1053
Billund Lufthavn A/S	2002	300	150000	2400	870	260	202
Faerch Plast A/S ^{**)}	2003	208	1800000	2650	+/-16700	1460	1138
AKV Langholt A/S	2004	210	470000	3900	8750	1650	1290
DBI Plastics A/S Anlæg 2	2006	100	450000	1625	7300	1350	1050
Kunst-Stof Kemi A/S	2007	55	275000	700	3500	825	495
Hotel Opus	2007	80	280000	555	1930	420	250
DEIF A/S ^{***)}	2008	40	300000	1000	1000	220	337
Sundhedshuset ^{***)}	2009	40	160000	350	700	159	143
Widex A/S ^{***)}	2009	250	560000	2800	3000	698	1034
Copenhagen Towers ^{***)}	2009	300	400000	4000	2200	610	366
RHQ, Ørestad ^{***)}	2010	100	560000	1000	2500	450	425

Data for nogle af de første større grundvandskøleanlæg med reinjektion i Danmark. ^{*)} Med vandrette borer for returledning af grundvand. ^{**) Med termisk balancering af grundvandsmagasinet. ^{***)} Med termisk balancering af grundvandsmagasinet ved aktiv kulde/varmelagring (2-FLOW). I CO₂-reduktionen er også indregnet besparelser ved varmepumpedrift.}

Kilde: Energi & Miljø A/S og Enopsol ApS.

9. Grundvandskøling og ATES. Teknologistade udland.

I Holland er der flere hundrede anlæg i drift til køling og opvarmning af store bygninger ved brug af ATES og har igennem en årrække været kommerciel tilgængelig teknologi. Der findes en meget omfattende litteratur om disse anlæg, herunder en rapport /11/ om livscyklus-analyse af ATES-anlæg.

I Sverige er der også etableret en række ATES-anlæg (ca. 40). Der findes også en omfattende litteratur om de svenske anlæg.

Som led i det omhandlede projekt har projektdeltagerne været på studiebesøg i Holland og Sverige, hvor der blev givet generelle foredrag og præsentation af udvalgte projekter. For nærmere information desangående henvises til hjemmesiden www.enopsol.dk.

I en del vestlige lande udover Danmark er teknologien nu langsomt ved at vinde indpas.

10. Internationalt samarbejde under IEA.

IEA (International Energy Agency) har været den organisation, hvori de fleste internationale initiativer og projekter indenfor teknikområdet har været gennemført. En detaljeret beskrivelse af de forskellige former for ATES og andre lagringsteknologier under fællesbetegnelsen STES (Seasonal Thermal Energy Storage) er givet i kilde /12/.

Allerede i 1978 blev der igangsat et program under IEA med titlen "Energy Conservation Through Energy Storage" (ECES) for forskning, udvikling og demonstration af nye, innovative teknologier indenfor termisk energilagring med det formål at fremme energibesparelser og udnyttelse af fornybare energikilder. Flg. focusområder blev valgt: Underground Seasonal Thermal Energy Storage, Short Term Thermal Energy Storage, Phase Change Materials (PCM) og Thermo-Chemical Reactions for Heating and Cooling.

For nærmere oplysninger om ovennævnte teknologier kan henvises til /12/.

Indenfor focusområderne er der indtil nu taget initiativ til dannelsen af følgende Annex:

Annex 1: Large Scale Thermal Storage Systems Evaluation.
Afsluttet 1981.

Annex 2: Lake Storage Demonstration Plant in Mannheim.
Projektet blev opgivet

Annex 3: Aquifer Storage Demonstration Plant in Lausanne
Dorigny (SPEOS). Afsluttet 1989.

- Annex 4: Short Term Water Heat Storage Systems.
Afsluttet 1988.
- Annex 5: Full Scale Latent Heat Storage Installations.
Afsluttet 1992.
- Annex 6: Environmental and Chemical Aspects of Thermal
Energy Storage in Aquifers and Research and
Development of Water Treatment Methods.
Afsluttet 1996.
- Annex 7: Innovative and Cost Effective Seasonal Cold Storage
Applications. Afsluttet 1996.
- Annex 8: Implementing Underground Thermal Energy Storage
Systems.
- Annex 9: Electrical Energy Storage Technologies for Utility
Network Optimization.
- Annex 10. Phase Change Materials and Chemical Reactions for
Thermal Energy Storage.
- Annex 12. High-Temperature Underground Thermal Energy
Storage (HT UTES).
- Annex 13. Design, Construction and Maintenance of UTES Wells

and Boreholes.
- Annex 14. Cooling with TES in all Climates
- Annex 15. Design, Construction and Maintenance of UTES Wells
and Boreholes.
- Annex 16. Cooling with TES in all Climates
- Annex 17. Advanced Thermal Energy Storage Techniques
–Feasibility Studies and Demonstration Projects.

For nærmere information vedr. IEA-programmet henvises til hjemmesiden
www.iea-eces.org

Med bl.a. IEA som sponsor er der til og med 2006 afholdt 10
internationale konferencer under fællesbetegnelsen "International
Conference on Energy Storage for Building Heating and Cooling":

- 1981: Seattle
- 1983: Stockholm (Subsurface Heat Storage)
- 1985: Toronto (ENERSTOCK 85)
- 1988: Versailles (JIGASTOCK 88)
- 1991: Scheveningen (THERMOSTOCK 91)
- 1994: Espoo (CALORSTOCK 94)
- 1997: Sapporo (MEGASTOCK 97)
- 2000: Stuttgart (TERRASTOCK 2000)
- 2003: Warszawa (FUTURESTOCK 2003)
- 2006: New Jersey (ECOSTOCK 2006)
- 2009: Stockholm (EFFSTOCK 2009)

11. Varmepumper og absorptionsanlæg. Teknologistade

I Bilag 2 er der givet en opdateret beskrivelse af varmepumpe- og kølekompressor anlæg samt en omtale af absorptionskøleanlæg.

12. Ventilationsanlæg. Teknologistade

I Bilag 3 er der givet anbefalinger for etablering af anlæg for højtemperatur bygningskøling.

13. Lavtemperatur solvarme. Teknologistade.

I Bilag 4 er der vist eksempler på lavtempertur solfangersystemer.

14. Bygningsreglement B06 og ATES.

Bygningsreglementets energiregler benytter sig af en energiramme-betragtning til at afgøre om en ny bygning kan opføres lovligt. Energirammen pr. m² opvarmet areal for andre bygninger end boliger udtrykkes ved:

$$95 + \frac{2200}{A} \quad \text{kWh / m}^2 \text{ pr. år}$$

Desuden findes to definitioner af lavenergibygninger som har en energiramme på ca. 75 hhv. 50 % af energirammen for nye bygninger. Tilsvarende findes en definition for bygninger, der benyttes til beboelse. Det vil sige at en bygnings samlede energiforbrug til opfyldelse af de forskellige behov ved normal brug af bygningen, herunder opvarmning, varmt vand, køling, ventilation og belysning (kun i andre bygninger end boliger) samt straf for overtemperaturer. I beregningen af energirammen indgår alle elforbrug med en vægtningsfaktor på 2,5 og alle andre energiforbrug med en vægtningsfaktor på 1,0.

ATES teknologiens mulighed for at bidrage til at en ny bygning overholder energirammen ligger derfor primært i muligheden for at nedbringe energiforbruget til køling og opvarmning. Grunden til at ATES teknologien vil have en effekt på disse faktorer er effektivitetsfaktoren for ATES anlægget, som er langt højere end for traditionelle mekaniske køleanlæg, som typisk har en effektivitetsfaktor på mellem 3 og 5.

I bilag 5, Beregning af energirammen og ATES systemer, findes en beskrivelse af de inddata til Be06 beregningsprogrammet som skal justeres for at beregne indflydelsen på energirammen fra et ATES anlæg. I bilag 6 er vist en gennemgang af modelværktøjet TRNSYS til brug ved dynamisk simulering af bl.a. ATES-systemer.

15. Kortlægning af potentiale for ATES i DK.

Med henvisning til rapporten /13/ vurderes det i 1995 muligt at etablere mindst 400 ATES-anlæg i Danmark. Antages en gennemsnitlig grundvandscirkulation på $300.000 \text{ m}^3/\text{år}$ pr. anlæg, modsvarer det en total grundvandscirkulation på $120.000.000 \text{ m}^3/\text{år}$ eller mindre end 1% af den årlig grundvandsdannelse i Danmark. Energibesparelsen ved at cirkulere $120.000.000 \text{ m}^3$ grundvand pr. år er ved antagelse af en ligelig fordeling mellem køling og opvarmning ca. 128 GWh el og ca. 700 GWh varme svarende til en besparelse på 100-200 mio. kr./år for el og 300-600 mio. kr./år for varme i alt en besparelse på 400-800 mio. kr./år. CO_2 -besparelsen bliver ca. 76.000 tons $\text{CO}_2/\text{år}$ for eldelen og ca. 144.000 tons $\text{CO}_2/\text{år}$ på varmedelen i alt ca. 220.000 tons $\text{CO}_2/\text{år}$.

Antages at hvert anlæg i gennemsnit koster 6 mio. kr. at etablere bliver den samlede investering på 2.400 mio. kr. Med en potentiel energibesparelse bliver den simple tilbagebetalingstid på mellem 3-6 år afhængig af energipriserne. Bliver det i fremtiden tilladt at lagre varme ved 30°C isf. det nugældende krav på 20°C kan ovennævnte besparelspotentiale og CO_2 -reduktion fordobles og tilbagebetalingstiden halveres.

ATES-teknologien har under ovennævnte forudsætninger et potentiale for at reducere Danmarks samlede CO_2 -udledning med mellem 0.5 og 1%. Besparelspotentialet kan dog vises sig at være betydeligt større i takt med stigende energipriser.

16. Myndighedsforhold

Det nye bygningsreglement er trådt i kraft med virkning fra pr. 1. april 2006 jf. ref. /14/ og /15/.

Bygningsreglementet stiller krav om en betydelig besparelse på 30% i bygningers samlede energiramme i forhold til det tidligere bygningsreglement. Der vil inden for få år ske yderligere stramninger.

Fra november 2006 er anvendelsen af grundvand til kølings- og opvarmningsformål blevet reguleret af en bekendtgørelse udstedt af Miljøstyrelsen. For nærmere oplysninger henvises til ref. /1/.

17. Barrierer og virkemidler for teknologiens udbredelse.

Det har været en mærkbar barriere for teknologiens udbredelse i Danmark, at der ikke igennem 1990'erne og efter årtusindskiftet har været officiel opbakning til teknologien herhjemme, herunder manglende støtte til dansk deltagelse i det internationale samarbejde under IEA.

Der har også været en markant svag deltagelse fra dansk side (rådgivere og arkitekter) i de internationale konferencer og seminarer indenfor området. ATEs har derfor i Danmark været markedsført af et meget lille antal personer og firmaer med risikovillighed og iværksætterånd. Dette står i skærende kontrast til fx Sverige og Holland, hvor de statslige myndigheder aktivt har promoveret teknologien ved massive tilskud i udviklings- og markedsføringsfaserne.

En barriere har desuden været, at der indtil efteråret 2006 ikke var landsdækkende retningslinier for sagsbehandling og vilkår for både grundvandskøleanlæg og grundvandsvarmepumpeanlæg. De daværende amter var sagsbehandlere for ansøgninger (Miljøkontrollen i København) og de var som oftest meget lang tid om at træffe afgørelse i ansøgninger om tilladelse.

En barriere har været, at der i de oprindelige amter i Danmark, har siddet sagsbehandlere, der har haft en personlig uvilje mod at give tilladelse til disse anlæg, hvilket i mange tilfælde skyldes uvidenhed om konceptet og i lyset af manglende uvildig oplysning fra de statslige myndigheder, har man følt det sikrere (og lettere) at sige nej end ja til en ansøgning. Få ansøgninger havnede derfor som klagesager i Miljøstyrelsen og Miljøankenævnet. I disse instansers afgørelser var linien imidlertid en meget stor imødekommenhed overfor konceptet.

En barriere har også været, at der i Danmark har været den opfattelse, at alt grundvand skal være til rådighed for drikkevandsindvinding, hvorfor mange amter har været meget forsigtige med at give tilladelse til grundvandskøleanlæg selv i områder, hvor der ikke i regionplanerne var planlagt for fremtidig vandindvinding. Denne interessekonflikt tager den nye bekendtgørelse hånd om på bedste vis.

De danske rådgiveres og arkitekters manglende viden om ATEs har naturligvis også den konsekvens, at bygherrer, developere og byggeriets øvrige beslutningstagere og investorer ikke får en tilstrækkelig kvalificeret og nyanceret rådgivning i byggeriers indledende faser.

De fremadrettede virkemidler for ATES udbredelse i Danmark er først og fremmest, at kunne vise konceptets potentiale via etablerede anlæg. Dernæst er det vigtigt, at de uvildige myndigheder (Energistyrelsen og Miljøstyrelsen) og forsyningsselskaberne træder mere aktivt ind i oplysningen om disse anlæg. Ønsket om at kunne lagre grundvand ved i gennemsnit op til 30°C isf. de nugældende 20°C ville betyde op mod en fordobling af energibesparelspotentialet og dermed følgende yderligere reduktion af CO₂-udslippet. Et virkemiddel kunne også være at forsyningsselskaberne aktivt investerer i etablering og drift af ATES-anlæg.

18. Beregningsværktøj for udlægning af ATES

I bilag 6 er vist et beregningsværktøj for økonomisk og miljømæssig vurdering af ATES-anlæg. Beregningsværktøjet, der er regnearksbaseret, giver ud fra et sæt indtastede værdier et forslag til anlægsudformning (1-flow eller 2-flow systemer med eller uden kulde- eller varmeinjektion), nødvendige grundvandsmængder, investeringsomfang, energibesparelser, tilbagebetalingstider og CO₂-reduktion. Beregningsværktøjet kan findes på hjemmesiden www.enopsol.dk.

19. Gennemregning af 4 anlægseksempler

Ved anvendelse af beregningsværktøjet i Bilag 6, oplysninger om lokal geologi og hydrogeologi er der foretaget en gennemregning for 4 potentielle anlægsværter:

1. Hotel Opus, Horsens
2. Novo Nordisk A/S, Hillerød
3. Sydvestjysk Sygehus, Esbjerg
4. Fields, Ørestad

Et grundvandskøleanlæg (1-flow uden termisk balance og uden varmepumper) er installeret til Hotel Opus. Anlægget har været i drift siden efteråret 2007. Beregningerne i denne rapport baserer sig imidlertid på et 2-flow anlæg med termisk balance

Novo Nordisk A/S har ønsket et 1-flow anlæg uden termisk balance med varmepumper. Beregningerne i denne rapport baserer sig imidlertid på et 1-flow anlæg med termisk balance.

For Sydvestjysk Sygehus er beregningerne foretaget ud fra ønsket om et 2-flow system med termisk balance.

For Sydvestjysk Sygehus er beregningerne foretaget ud fra ønsket om et 2-flow system med termisk balance.

Beregningsforudsætninger og –resultater fremgår af Bilag 7.

20. Checkliste for etablering af ATES

Etableringen og driften af et ATES-system er forholdsvis kompleks, idet anlæggene skal designs, bygges og drives individuelt ud fra de naturgivne forhold på etableringsstedet. Derfor er det af største vigtighed, at etableringen af sådanne anlæg foretages af kompetente rådgivere og udførende entreprenørvirksomheder.

Generalt kan et projekt opdeles i flg. faser:

1. Forundersøgelse
2. Projektering/engineering
3. Entrepriser og leverancer
4. Udførelse
5. Dokumentation
6. Driftsinstruktion
7. Drift og overvågning
8. Driftsrapporter

Forundersøgelsen inddeles i 3 faser:

Ad 1) Forundersøgelse fase 1. Indledende analyse.

Omfatter:

- Bygningens køle- og varmebehov og tilhørende temperaturkrav
- Geologi og hydrogeologi
- Grundvandskemi
- Grundvandsinteresser
- ATES-koncept og indpasning i bygningens samlede energisystem
- Anlægsøkonomi, energibesparelse og CO₂-reduktion
- Indpasning i bygningsreglementet
- Myndighedskontakt og møder med myndigheder og interessenter
- Grundvandshydraulisk modelanalyse
- Grundvandstermisk modelanalyse

- Ansøgning om tilladelse til anlægsetablering eller prøveboring(er)
- Rapport

Ad 1) Forundersøgelse fase 2. Prøveboring og prøvepumpning.

Omfatter:

- Etablering af lagfølgeboring(er)
- Prøvepumpningsprogram
- Grundvandskemiske analyser
- Fuldskala test forsøg fx med testcontainer
- Analyse af feltmålinger
- Rapport

Ad 1) Forundersøgelse fase 3. Miljøansøgning.

- Rekalibrering af grundvandshydraulisk model
- Rekalibrering af grundvandstermisk model
- Endelige boringsplaceringer
- Hydraulisk og termisk konsekvensanalyse for grundvandsmagasinet
- Evt. møder med myndighederne
- Rapport
- Udarbejdelse af miljøansøgning

Ad 2) Projektering og engineering.

Det ideelle udgangspunkt for anlægsprojekteringen er naturligvis at vente til forundersøgelsesprogrammet er fuldt gennemført. Dette ønske kan ikke altid af tidsmæssige årsager opfyldes. Projekteringen startes derfor ofte så snart ATES-projektet er defineret.

Her tænkes især på installationer over jorden som rør, varmeveksler, varmepumper, udeluftskølere, solvarmeanlæg, ventiler, instrumentering, elinstallationer, automatik og overvågning. I denne fase udarbejdes funktionsbeskrivelser og funktionskrav, udbudsmateriale og tilbudsindhentning for underentrepriser. Krav til og udbudsmaterialet for prøveboringer udarbejdes også i denne fase. Når resultatet fra prøveboring(er) og prøvepumpning(er) og andre testresultater foreligger kan der komme projektændringer, herunder boringsantal og boringernes indbyrdes placering.

Ad 3) Entrepriser og leverancer

Der skal indhentes tilbud på anlægsudførelsens enkelte entrepriser eller totalentreprisetilbud. Et totalentreprisetilbud kan omfatte samtlige projektfaser. Entrepriser involveret er typisk:

- Forundersøgelser, myndighedsansøgning og -behandling
- Boringsentreprise
- Boringsudbygning og -afslutningsentreprise
- Rørentreprise
- Graveentreprise
- Kabelentreprise
- Tavleentreprise
- El- og fortrådningsentreprise
- SRO-entreprise
- Varmevexlerentreprise
- Instrumenentreprise
- Ventil- og automatikentreprise
- VVS-entreprise
- Isoleringsentreprise

Ad 4) Anlægsudførelse.

Når tilladelser er opnået kan anlægsudførelsen påbegyndes. Her vil den rigtige rækkefølge være at etablere de resterende boringer først, for at sikre sig, at de nødvendige vandmængder er til rådighed med det forventede antal boringer og den forventede vandkemi, samt at det er muligt aft tilbagelede den ønskede grundvandsmængde.

Ad 5) Dokumentation.

Der skal udarbejdes fyldestgørende anlægsdokumentation til bygherre, driftsorganisation og myndighederne jf. vilkår i tilladelsen. Anlægsdokumentationen skal indeholde CE-mærkning af det samlede anlæg.

Ad 6) Driftsinstruktion.

Der skal udarbejdes fyldestgørende instruktion til driftspersonalet, således at anlægget kan betjenes forsvarligt.

Ad 7) Drift og overvågning

I anlæggets driftsfase skal dette styres og overvåges således at boringer og anlæg ikke bliver ovebelastet og således at grundvandet ikke bliver forurennet ved lækager i varmekslere. Der skal indbygges automatisk virkende sikkerhedssystemer, der nedregulerer anlægget eller stopper det helt, hvis forudindstillede værdier overskrides. Overvågning af anlægget skal desuden opfylde de af myndighederne stillede vilkår til anlægget.

Ad 8) Driftsrapport

Anlæggets overvågningsanlæg skal være udstyret med datalogging af nøgleparametre, således at fejlsøgning lettes og således at de nødvendige rapporter til myndighederne let kan genereres.

21. Referencer

/1/ Bekendtgørelse 1206 af 24. november 2006: "Bekendtgørelse om varmeindvindingsanlæg og grundvandskøleanlæg."

/2/ Stig Niemi Sørensen, Bjørn Qvale: "Grundvand som varmekilde for varmepumper." Energiministeriets Varmepumpeforskningsprogram. Rapport nr. 35. Laboratoriet for Energiteknik, DTU. April 1986. ISBN 87-7511-622-7

/3/ Stig Niemi Sørensen, Bjørn Qvale: "Grundvandsreservoir som varmekilde I. Beskrivelse af forsøgsanlæg." Energiministeriets Varmepumpeforskningsprogram. Rapport nr. 59. Laboratoriet for Energiteknik, DTU. November 1987. ISBN 87-7511-809-2

/4/ Stig Niemi Sørensen, Bjørn Qvale: "Grundvandsreservoir som varmekilde II. Drifts- og måleresultater." Energiministeriets Varmepumpeforskningsprogram. Rapport nr. 60. Laboratoriet for Energiteknik, DTU. November 1987. ISBN 87-7511-810-6

/5/ Stig Niemi Sørensen, Jan Reffstrup, Bjørn Qvale: "Grundvandsreservoir som varmekilde III. Enkeltbrøndsanlæg." Energiministeriets Varmepumpeforskningsprogram. Rapport nr. 71. Laboratoriet for Energiteknik, DTU. December 1989. ISBN 87-7511-986-2

/6/ Stig Niemi Sørensen: "Etablering og drift af grundvands-baserede varmepumpesystemer." Rapport nr. RE 91-2. Laboratoriet for Energiteknik, DTU. Marts 1991. ISBN 87-7475-136-0

/7/ Lotte Schleisner Ibsen, Bjørn Qvale: "The Danish Aquifer Thermal Energy Storage Project. Demonstration Plant." The Laboratory for Energetics, DTU, The Geological Survey of Denmark (GEUS), Risø National Laboratory. Report No. 1-4, Risø-M-2764. December 1988. ISBN 87-550-1490-6

/8/ Jørgen Boldt: "Grundvandsvarmepumper suppleret med andre naturlige varmekilder." Energiministeriets Varmepumpeforskningsprogram. Rapport nr. 36. Laboratoriet for Energiteknik, DTU. April 1986. ISBN 87-7511-623-5

/9/ Stig Niemi Sørensen, Jørgen Boldt, Bjørn Qvale: "Lavtemperatur varmelagring i akviferer." Energiministeriets Energiforskningsprogram. Rapport nr. RE 89-6. Laboratoriet for Energiteknik, DTU. December 1989. ISBN 87-7475-122-0

/10/ Ulrik Henriksen, Niels Houbak, Bjørn Qvale, Stig Niemi Sørensen: "Grundvandsvarmepumper suppleret med andre naturlige varmekilder. Forsøgsoptstilling." Energiministeriets Varmepumpeforskningsprogram.

Rapport nr. 72. Laboratoriet for Energiteknik, DTU. Marts 1990. ISBN 87-7511-987-0

/11/ "Environmental Effects of the Application of Seasonal Thermal Energy Storage (STES). A Life-Cycle Analysis of STES and Conventional Cooling with Respect to Material and Energy Consumption and Emissions." IF Technology. November 1991.
rumkøling og opvarmning i det kommercielle byggeri

/12/ Halime Ö. Paksoy: Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption. Fundamentals, Case Studies and Design." NATO Science Series. II. Mathematics, Physics and Chemistry. 2007. ISBN 978-1-4020-5288-0

/13/ "Seasonal Thermal Storage in North-West Europe", EEC-rapport under Generaldirektoratet XVII Energi, Thermie B-programmet DIS-0463-95-NL, 1995

/14/ Europaparlamentets og Rådets Direktiv 2002/91/EF af 16. december 2002 om bygningers energimæssige ydeevne.

/15/ Lov om fremme af energibesparelser i bygninger. Lov nr. 585 af 24. juni 2005.